

DER EINSATZ VON SOFTWARE-DETEKTOREN ZUR ERKENNUNG VON MESSWERTSINGULARITÄTEN ALS BESTANDTEIL EINES WEB-BASIERTEN UMWELTINFORMATIONSSYSTEMS

Matthias Haase, Mathias Fritz (WISUTEC GmbH)
Frank Neubert (AMC Chemnitz)
Rene Kahnt, Alexander Kutzke (GEOS Freiberg)

1 Kurzfassung

Der Betrieb von Messstationen in einem Frühwarnsystem zur Erkennung von besonderen Umweltsituationen verschiedener Art ergibt hohe Anforderungen bezüglich einer schnellen Verfügbarkeit der erhaltenen Informationen. Online-Datenübertragungen der Messwerte von den Sensoren unmittelbar in das Informationssystem und die Bereitstellung der Daten in web-basierten Informationssystemen sind mittlerweile häufig anzutreffende technische Lösungen. Die schnelle und automatische Bewertung der eingegangenen Signale in Bezug auf mögliche Gefährdungen sind ein daraus unmittelbar resultierendes Erfordernis, um die Vorteile der Online-Übertragung und der Datenverteilung mittels Internettechnologie nutzen zu können. Um Messsignale automatisch zur Detektion von Situationen einsetzen zu können, welche eine Abweichung vom normalen Verhalten des zu messenden Systems darstellen, sind mathematische Algorithmen in den Datenfluss (Software-Detektoren) zu integrieren. Im Rahmen eines FuE-Vorhabens wurden insgesamt 5 mögliche Software-Detektoren untersucht und in ein Warnsystem integriert [1]. Die Software-detektoren können in ihrer Wirkung zum Alarmindex kombiniert werden.

2 Einführung

Die Entwicklungen von Sensoren zur Messung von Umweltdaten und deren Einbettung in Hardware zum autarken Langzeitbetrieb im Feld haben dazu geführt, dass es heute möglich ist, viele Aufgaben im Bereich der Umweltüberwachung mehr und mehr automatisch ablaufen zu lassen. Die manuelle Probenahme, z.B. das Ablesen von Werten oder die Entnahme von Proben vor Ort kann zunehmend reduziert werden. Das spart Personaleinsatz. Miniaturisierte Industrie-PC's mit geringem Energiebedarf können gemessene Daten im Feld zwischenspeichern und vorverarbeiten. Mit dem Einsatz von modernen Datenübertragungssystemen unter Nutzung des Mobilfunknetzes und des Internetprotokolls besteht prinzipiell die Möglichkeit, die Feldkomponenten, bestehend aus Sensoren und Industrie-PC direkt in ein Netzwerk einzubinden.

Der Zeitraum von der Messung bis zur Recherche lässt sich somit auf Zeiten im Sekundenbereich reduzieren. Die Zeiten, in denen der Nutzer tagelang auf die Messwerte warten musste, weil ein Auslesen im Feld nur einmal pro Woche stattfinden konnte, könnten zunehmend der Vergangenheit angehören.

Weiterhin wachsen die Datenmengen, die aus dem Feld übertragen werden, deutlich an. Grund sind auch hier die Vielfalt und die Menge der einsetzbaren Sensoren und die möglichen kürzeren Messzyklen.

Hinsichtlich der Nutzung der Messsysteme muss unterschieden werden in Systeme für die Langzeitüberwachung und in Systeme die (zusätzlich) als Frühwarnsysteme arbeiten. Erstere müssen zuallererst qualitätsgesicherte Messwerte den Nutzern, z.B. den Genehmigungsbehörden, bereit stellen. Hierzu sind die gemessenen Daten in einem Validierungsprozess freizugeben. Dieser kann mehrstufig sein und sich über einen längeren Zeitraum

erstrecken. Warnsysteme hingegen müssen ihre Messdaten schnell den Nutzern zuführen. Der Nutzerkreis selbst muss, auch auf Grund der neuen Möglichkeiten der Online-Bereitstellung der Messdaten, nicht unbedingt aus Fachleuten bestehen, sondern kann sich auch aus Personengruppen zusammensetzen, welche sich über die Umweltsituation schnell und einfach informieren müssen.

Im Zuge der schnellen Informationsbereitstellung müssen deshalb (halb)automatisch arbeitende Algorithmen in den Prozess des Datenflusses von der Messung bis zur Informationsbereitstellung integriert werden, welche Messwerte schnell und sicher als Ausreißer erkennen, die eine besondere Umweltsituation charakterisieren und einen Alarm auslösen müssten. Diese Algorithmen werden im Folgenden als Softwaredetektoren zur Alarmwerterkennung bezeichnet.

Im Unterschied zur Überwachung von technischen Systemen müssen diese Softwaredetektoren besondere Anforderungen erfüllen. Die zu überwachenden Umweltparameter sind dadurch gekennzeichnet, dass sie natürlichen Schwankungen unterworfen sind, von anderen Umweltparametern beeinflusst werden, periodischen Änderungen (Tages- oder Jahresgang) unterliegen oder auch gezielt durch menschliche Einflüsse plötzlich verändert werden. Es geht also bei der Frühwarnung darum, die Entwicklung der letzten Messwerte einer Zeitreihe dahingehend zu beurteilen, ob der letzte Wert z.B. einen außergewöhnlichen Sprung darstellt oder aber innerhalb der natürlichen Schwankung, der erwarteten Drift oder innerhalb einer periodischen Änderung liegt.

Softwaredetektoren müssen zuverlässig arbeiten um Fehlalarme zu vermeiden. Um die Zuverlässigkeit zu erhöhen, kann man verschiedene Maßnahmen treffen:

- Mehrere verschiedene Softwaredetektoren gleichzeitig auf eine Zeitreihe wirken lassen
- Mehrere Zeitreihen in Kombination auswerten, z.B. eine Pegelmessung mit einer Niederschlagsmessung analysieren
- Die Historie der Messung genau analysieren, um für mögliche Alarmsituationen die Messwertsituation möglichst genau zu erfassen

Um diese Aufgaben realisieren zu können, ist das Zusammenführen aller verfügbaren Messdaten, auch aus unterschiedlichen Messsystemen, notwendig. Hierzu ist das Umweltinformationssystem in einer geeigneten Architektur aufzubauen.

3 Aufbau eines Umweltinformationssystems mit Funktionen zur Frühwarnung

Systeme zur Umweltüberwachung werden in verschiedenen Bereichen in unterschiedlicher Größe betrieben. Beispiele sind:

- Die Überwachung einer einzelnen, lokal begrenzten Sanierungsmaßnahme hinsichtlich der Einhaltung von Auflagen, z.B. Lärmbelastung
- Das dauerhafte Betreiben von Überwachungssystemen für Anlagen der Wasserwirtschaft, z.B. Ab- und Zuflussmessungen an Stauanlagen
- Radiologische Umweltüberwachung eines ganzen Bundeslandes als Kombination von radiologischen Messungen der Luft und des Wassers sowie der Meteorologie
- Überwachung großer, komplexer und langfristiger Sanierungsprojekte unter Einbeziehung aller Umweltpfade, z.B. im Bergbau (Wismut-Projekt)

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes [1] hatte sich das beteiligte Konsortium zum Ziel gesetzt, technische Komponenten eines Umweltinformationssystems zu entwickeln, welche

- moderne Entwicklungen im Bereich der Sensortechnik und der Feldtechnik aufgreift,

- eine zentrale Datenzusammenführung und -Auswertung aller verfügbaren Zeitreihen ermöglicht,
- die vorhandenen Feldkomponenten zur Messung mit universellen Schnittstellen versieht, welche eine Anbindung an die Datenzentrale unabhängig vom Hersteller erlauben und
- den Einsatz von Softwaredetektoren zur Frühwarnung auf beliebige Zeitreihen vorsieht.

Die folgenden Ausführungen beschreiben die technische Realisierung eines Umweltinformationssystems als Ergebnis des genannten Projektes.

Die übergeordnete Architektur des Umweltinformationssystems gliedert sich in die Bereiche Messung (Feldkomponenten), Datenübertragung, Datenzentrale bestehend aus Datenbank und Auswertelogik sowie Komponenten zur Weiterleitung von Informationen an Dritte.

Die Feldkomponenten, also die Komponenten, welche vor Ort die Messungen vornehmen, können sich in Messstationen unterschiedlicher Ausbauart befinden:

- Ministationen für eine spezielle Messaufgabe (Bsp. Pegelmessung)
- Kompaktstationen zur Messung mehrerer Parameter (Bsp. Klimastation)
- Modulstation in Containerform



Abbildung 1: Beispiele für Ausführungen verschiedener Ausbaugrade von Messstationen: links – Ministation, Mitte – Kompaktstation, rechts – Modulstation in Containerform

Unabhängig von der besonderen Ausführung der Feldkomponenten soll das Umweltinformationssystem diese in das Datenmanagement aufnehmen. In der jeweiligen Messstation arbeitet ein PAC (Programmable Automation Controller), welcher die Messwerte der Sensoren in ein einheitliches Übertragungsprotokoll übersetzt.

Die Datenübertragung wird auf Basis des Internetprotokolls realisiert. Zur Datenübertragung vom Feld in die Datenbank wurde ein spezielles Protokoll entwickelt. Auf den Einsatz von XML wurde hierbei verzichtet. XML-basierte Protokolle übertragen zu viele beschreibende Daten. Insbesondere bei Messorten mit einer schlechten Anbindung an das genutzte Mobilfunknetz muss die Menge der zu übertragenden Daten minimiert werden.

Das eingesetzte Protokoll erlaubt die Anmeldung einer gesamten Messstation als auch der in der Station befindlichen Sensoren an die Datenzentrale. Dabei werden die für den Messbetrieb der Station und des jeweiligen Sensors notwendigen Stammdaten an die Zentrale gemeldet. Anschließend kann die Übertragung der Zeitreihe beginnen.

Integrierend wirkender Bestandteil des web-basierten Umweltinformationssystems ist die Datenzentrale. Sie besteht aus einem Datenbanksystem basierend auf ORACLE oder PostgreSQL und einem Applikationsteil zur Datenverarbeitung und Recherche. Im Applikationsteil befinden sich auch die Softwaredetektoren zur Alarmerkennung. Bei der hier vorgestellten Lösung zur Alarmwerterkennung handelt es sich also nicht um eine Stations-

bezogene Lösung, sondern um die Realisierung der Alarmwerterkennung in einer Datenzentrale.

Neben den im Feld arbeitenden Sensoren können aber auch Labor- und Prozessleitsysteme angebunden werden. Die Software erlaubt die flexible Einbindung von Datenquellen in das Gesamtsystem und ist eine der Voraussetzungen für den Einsatz von Softwaredetektoren zur Frühwarnung. Es wird das Prinzip der Zusammenführung aller verfügbaren Informationen auf eine Rechercheplattform verfolgt. Dies gibt dem Nutzer die bestmögliche Übersicht über die Umweltsituation.

Von Umweltinformationssystemen werden auch Funktionen zur Bereitstellung von qualitätsgesicherten Daten an Dritte verlangt. Das wird im entwickelten System durch den Einsatz eines Sensor Observation Services (SOS) realisiert. Dieser Dienst stellt Messdaten und die Informationen zu den Stationen in einem international abgestimmten Format bereit.

4 Softwaredetektoren zur Erkennung von Alarmwerten

4.1 Aufgabe der Softwaredetektoren

Eine Erkennung von Messwerten, deren Feststellung zu einer automatisch erzeugten Benachrichtigung von Nutzern führen soll, wird im Folgenden als „Erkennung von Alarmwerten“ bezeichnet.

Die Reaktionskette „Messung-Übertragung-Auswertung/Alarmerkennung-Benachrichtigung“ soll für den genannten Zweck schnell und sicher durchlaufen werden. Aus diesem Grunde muss dem Erkennen von Alarmsituationen auf der Basis der Messwerte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Dafür werden in den Datenfluss des Informationssystems die Softwaredetektoren integriert. Ihre Aufgabe ist es, die aktuell eingehenden Messsignale einer Zeitreihe auf ein vom „Normalen“ abweichendes Verhalten hin zu analysieren.

Im Unterschied zur Validierung einer Zeitreihe im Zuge der Qualitätssicherung können bei der Alarmwerterkennung nur die gerade eingehenden Messwerte bewertet werden. Bei der Validierung kann der Bearbeiter einen einzelnen Messwert hinsichtlich seiner Vorgänger und seiner Nachfolger bewerten. Es können Modellierungsergebnisse und Ergebnisse anderer Zeitreihen zur Plausibilitätsbetrachtung von Messwerten hinzugezogen werden. In der Praxis ist auch die zur Verfügung stehende Zeit für die Validierung deutlich größer als bei der Alarmwerterkennung. Validierte Zeitreihen können im Rahmen einer längeren Begutachtung erzeugt werden.

Der Alarmwerterkennung stehen hingegen nur der aktuelle Messwert und seine Vorgänger zur Verfügung. Ein Warten auf mehrere neue Messwerte der Zeitreihe widerspricht der geforderten Funktionalität der Alarmwerterkennung.

Zeitreihen für Umweltparameter, wie z.B. Lufttemperatur, Wasserdurchflüsse oder Konzentrationen chemischer Bestandteile im Wasser weisen in der Regel in ihrem Zeitverhalten mehrere, im Idealfall voneinander separierbare Komponenten auf:

- a. eine Saisonkomponente, z.B. den Tagesgang der Lufttemperatur
- b. eine Trendkomponente, z.B. den langfristigen Anstieg der Lufttemperatur über mehrere Jahre/Jahrzehnte
- c. eine natürliche Schwankungsbreite
- d. eine Restkomponente, welche alle weiteren Änderungen im Zeitverhalten der betrachteten Reihe beinhaltet.

Die folgende Abbildung zeigt stark vereinfacht die Problemstellung der Alarmwerterkennung an einer Beispielzeitreihe.

Die dargestellte Zeitreihe weist einen periodischen und einen Trendanteil auf. Weiterhin wurde eine natürliche Schwankung der Zeitreihe aufgeprägt. Die im roten Kreis markierte Abweichung sollte als Alarmwert identifiziert werden. Zum Zeitpunkt der Messung sind weiterhin nur die Werte bis zum Zeitpunkt „200“ bekannt.

Neben dem dargestellten Beispiel wären auch andere weitere Entwicklungen der Zeitreihe möglich, z.B. ein Sprung auf das neue Niveau.

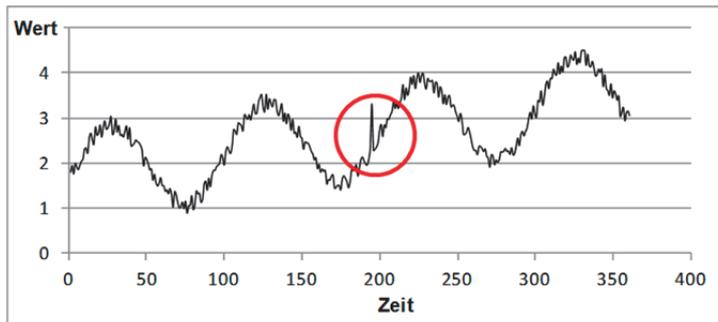


Abbildung 2: Beispiel einer Zeitreihe mit einem Trend-, Saison- und Rauschanteil sowie einem möglichen Alarmwert.

Die genannten Komponenten selbst können auf unterschiedlichen Zeitskalen wirken. Eine Alarmwerterkennung ließe sich nun so definieren, dass man die Komponenten (a) bis (c) analysiert, sie modellmäßig für eine Messreihe beschreibt und versucht, die Komponente (d) für den aktuellen Messwert zu ermitteln. In der Praxis ist jedoch eine solche Vorgehensweise entweder nur mit hohem Aufwand möglich oder nicht realisierbar, weil die Komponenten (a) bis (c) nicht erfassbar bzw. auch nicht als stationäre Lösungen beschreibbar sind.

Deshalb hat man sich im einfachsten Fall dadurch beholfen, statistische Größen für zu betrachtende Zeitreihen zu ermitteln und mit Hilfe dieser Analyse statische Grenzwerte zur Alarmwerterkennung zu verwenden. Beispiele hierzu wären

- untere bzw. obere Grenzwerte
- Anstiegsgrenzen

Dieses Vorgehen stößt aber schnell an seine Grenzen. Zum Beispiel müsste man für jede Zeitreihe mehrere Zeiträume mit spezifischen Grenzwerten definieren (im Fall der Lufttemperatur für den Tagesgang und den Jahresgang) oder diese auch fortwährend der Trendentwicklung anpassen. Der Aufwand für die Nachjustierung von statischen Grenzwerten in Systemen mit sehr vielen Zeitreihen ist jedoch hoch.

Besser wären Verfahren, welche sich ihre Entscheidungsparameter dynamisch selbst generieren. Im Falle des Gewässermonitorings wurde in Deutschland im EASE-Projekt [4] eine dynamische Grenzwertanpassung zur Alarmwerterkennung realisiert. Diese Ideen wurden für das hier vorgestellte Umweltinformationssystem aufgegriffen und es wurden 3 weitere Softwaredetektoren auf ihre Einsatzmöglichkeiten hin untersucht und im System implementiert.

4.2 Im System verwendete Softwaredetektoren

Für das Umweltinformationssystem wurden insgesamt 5 Softwaredetektoren in das Modul zur Alarmwerterkennung integriert. Alle 5 Detektoren können auf eine Zeitreihe angewandt werden. Dazu wählt der Nutzer die Zeitreihe, definiert die anzuwendenden Detektoren einschließlich deren Einstellungen und gibt die Alarmwerterkennung für die Zeitreihe frei.

Die folgenden 5 Softwaredetektoren wurden getestet und integriert [6].

1. Datenanalyse mittels Poincaré-Plot
2. Fourieranalysedetektor
3. Adaptiver Hinkleydetektor
4. Steigungsdetektor
5. Doppelsigmadetektor

Die Detektoren (3), (4) und (5) wurden bereits im EASE-Projekt für das Gewässermonitoring entwickelt. Die ersten beiden sind für den genannten Anwendungsfall neu entwickelt worden. Die Idee für den Softwaredetektor (1) stammt aus der Medizin. Damit werden Herzfrequenzen auf Anzeichen von Unregelmäßigkeiten hin untersucht [7].

Ein weiterer Detektor aus dem Bereich der Seismik (short term average to long term average – STA/LTA) wurde auf seine Verwendung hin untersucht.

4.2.1 Datenanalyse mittels Poincaré-Plot

Die Grundlage der Datenanalyse mittels Poincaré-Plot bilden die Differenzen von aufeinanderfolgenden Messwerten. Diese werden zu Differenzenpaare zusammengefasst und als Punktwolke in einem zweidimensionalen Poincaré-Plot dargestellt.

Die Wertepaare setzen sich dabei wie folgt zusammen:

$$x = x_{m+1} - x_m$$

$$y = x_{m+2} - x_{m+1}$$

m charakterisiert den m -ten Zeitwert x der Reihe

Anschließend wird der Punkt $P(x,y)$ in der x - y -Ebene dargestellt. Für eine Zeitreihe mit N Werten erhält man so $N-2$ Punkte. Diese bilden entsprechend des Zeitreihenverlaufs eine charakteristische Verteilung in der Ebene.

Dies soll kurz mit einfachen Beispielen veranschaulicht werden.

Sind alle Werte der Zeitreihe konstant, so liegen alle Punkte bei $(0,0)$. Liegen die Punkte auf einer steigenden Geraden (Trend) mit dem Anstieg g , so liegen die Punkte alle bei (g,g) . Liegen die Messwerte auf einer Sinus- oder Kosinusfunktion so bilden die Punkte der Messwertdifferenzen eine Ellipse. Kommt in allen Fällen eine natürliche Schwankung der Messwerte hinzu, so entstehen Punktwolken, die sich mit einer einhüllenden Ellipse in der x - y -Ebene beschreiben lassen. Hat man hinreichend viele Messwertdifferenzen erfasst, so belegen diese im „Normalbetrieb“ eine Fläche innerhalb einer charakteristischen Ellipse. Kommt es nun zu Ausreißern in den Messwerten, so entstehen Wertepaare $P_A(x,y)$, welche nicht innerhalb der beschreibenden Ellipse liegen.

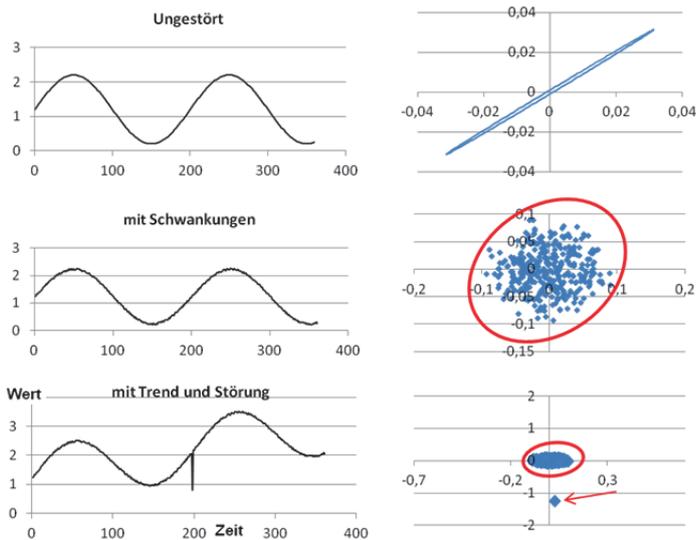


Abbildung 3: Darstellung von 3 Zeitreihen (links) und der dazugehörigen Poincaré-Plots (rechts). Die oberste Reihe stellt eine reine Sinuskurve dar, die Punkte im Poincaré-Plot liegen auf einer Ellipse. Die Werte der mittleren Reihe wurden mit einer Zufallszahl belegt, die Ellipse im Poincaré-Plot ist schematisch eingezeichnet. Die untere Reihe zeigt eine Reihe mit Schwankung, Trend und einer Störung. Die Störung zeigt sich als Punkt außerhalb der abschätzenden Ellipse.

Diese Analyse lässt sich leicht in einen Algorithmus einbinden. Für unterschiedliche Messkampagnen (Sommer/Winter, Tag/Nacht, usw.) lassen sich verschiedene Ellipsen abschätzen und zur Auswertung heranziehen.

4.2.2 Fourieranalysedetektor

Dieser Detektor arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie der unter 4.2.1 beschriebene. Zunächst werden für ein festzulegendes Messintervall die Fourierkoeffizienten mittels schneller Fouriertransformation gebildet.

$$\hat{a}_k = \sum_{j=0}^{N-1} e^{-2\pi i \frac{jk}{N}} \cdot a_j$$

Mit

\hat{a}_k – Fourierkoeffizient zum Zeitpunkt k

a_j – Messwert zum Zeitpunkt j

N – Anzahl der für die Fouriertransformation verwendeten Zeitschritte

Diese aufeinanderfolgenden Koeffizienten werden nun an Stelle der Messwerte mit dem unter 4.2.1 beschriebenen Algorithmus ausgewertet. Dieser Detektor besitzt die Möglichkeit, Messwerte mit periodischen Änderungen, bspw. mit einem Tagesgang zu analysieren. Es werden nur solche Zustände detektiert, die deutlich von der regelmäßigen Änderung abweichen.

$$f_{min} = \frac{1}{N \cdot t_{Zeitschritt}}$$

$$f_{max} = \frac{1}{2 \cdot t_{Zeitschritt}}$$

Mit

f – Frequenz in Hz

$t_{\text{Zeitschritt}}$ – Differenz der Zeitschritte in Sekunden

N – Anzahl der für die Fouriertransformation verwendeten Zeitschritte

Die Frequenzen geben die minimale und maximale Frequenz an, welche gesondert betrachtet werden kann bei einer festgelegten Anzahl der Zeitschritte für die die Fourierkoeffizienten berechnet werden bzw, einer bestimmten Zeitschrittweite.

4.2.3 Adaptiver Hinkley-Detektor

1971 entwickelte D.V. Hinkley den klassischen Hinkleydetektor, welcher für das Auffinden von plötzlichen Veränderungen bei der Messung von Leitfähigkeiten bestimmt war. Sowohl der Hinkleydetektor als auch der adaptive Hinkleydetektor sind in den Veröffentlichungen [3], [5] beschrieben.

Der Detektor beruht auf der Bildung der sogenannten Hinkley-Summe:

$$g(t) = g(t - 1) + z(t) - (\mu_1 + \mu_0)/2$$

$$g(t) = g(t); \quad \text{wenn } g(t) > 0$$
$$g(t) = 0, \quad \text{wenn } g(t) < 0$$

mit

$g(t)$ Hinkleysumme
 μ_0 Ausgangsniveau
 μ_1 Sprungniveau
 $z(t)$ Messwert zum Zeitpunkt t

Übersteigt die Hinkleysumme $g(t)$ einen Wert λ (Hinkley-Grenze), so wird der letzte zur Hinkleysumme beigetragene Messwert als Alarmwert gekennzeichnet. Die Größe $g(t)$ erhöht sich nur dann, wenn die Messwerte dauerhaft über einer bestimmten Sprunghöhe ($\mu_1 + \mu_0/2$) liegen.

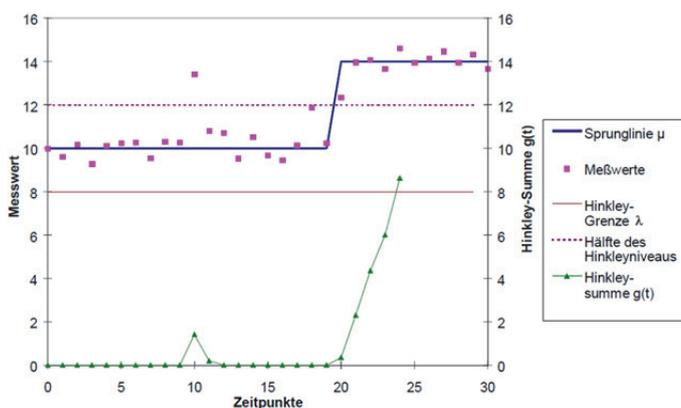


Abbildung 4: Darstellung der Wirkungsweise der Bildung der Hinkleysumme. Dargestellt ist der klassische Hinkley-Detektor, d.h. ohne dynamische Anpassung des Sprungniveaus.

Der Nachteil dieses Ansatzes ist, dass die Sprungniveaus μ fest sind. Dies ist bei den hier betrachteten Zeitreihen aber gerade nicht der Fall. Der adaptive Hinkley-Detektor trägt dem Rechnung und betrachtet mehrere letzte Messwerte, schätzt daran das Ausgangsniveau durch Mittelwertbildung und das Sprungniveau anhand der Standardabweichung dieser Messwerte ab und arbeitet mit dynamisch erzeugten Sprungniveaus.

4.2.4 Steigungsdetektor

Für ein vorher festgelegtes Intervall wird mittels des Kleinste-Quadrate-Ansatzes für Regressionsgeraden der Anstieg der Messwerte bestimmt und mit einem festzulegenden Grenzwert verglichen.

4.2.5 Doppelsigmadetektor

Für ein festgelegtes Zeitfenster ab dem letzten Messwert werden der Mittelwert und die Standardabweichung der Messwerte bestimmt.

Eine Auffälligkeit liegt dann vor, wenn bei zwei aufeinanderfolgenden Messwerten („Doppelsigma“) die Differenzen zum Mittelwert ein festzulegendes Vielfaches der Standardabweichung überschreiten.

4.2.6 STA/LTA-Detektor

Für diesen Detektor werden die mittleren Messwertquadrate von zwei unterschiedlich langen Zeitfenstern berechnet [2]. Dabei ist der zu betrachtende Messwert in beiden Fenstern der letzte Messwert.

$$STA_i = \frac{1}{n_s} \sum_{j=i-n_{sl}}^i x_j^2 \quad (\text{short term average})$$

$$LTA_i = \frac{1}{n_l} \sum_{j=i-n_l}^i x_j^2 \quad (\text{long term average})$$

x_j – Messwert zum Zeitpunkt j

$$r_i = STA_i / LTA_i$$

$$d_i = r_i - r_{i-1}$$

r_i – Verhältnis des mittleren Messwertquadrates zum Zeitpunkt i

d_i – Anstieg des Verhältnisses zum Zeitpunkt i

Eine Auffälligkeit liegt dann vor, wenn der Anstieg des Verhältnisses einen festzulegenden Grenzwert überschreitet. Dieser Detektor eignet sich besonders bei Daten mit starkem Rauschen, da dieses durch die Bildung der Mittelwerte unterdrückt wird.

4.2.7 Ergebnisse

Getestet wurden alle 6 genannten Softwaredetektoren hinsichtlich:

- Ansprechen auf verschiedene Messsituationen
- Performanceverhalten bei Integration in ein System mit sehr vielen Zeitreihen
- Konfigurierbarkeit

Die folgende Abbildung zeigt einen Beispieldatensatz und das ansprechen der einzelnen Softwaredetektoren auf die eingebrachte Störung an der Zeitreihe.

Anwendung der Detektoren verlangt aber eine sorgfältige Analyse bereits vorhandenen Werte an den Zeitreihen, um die entsprechenden Detektoreinstellungen vornehmen zu können.

Die Weiterentwicklung des Softwaredetektors „Datenanalyse mittels Poincaré-Plot“ verdient Aufmerksamkeit. Dieser Ansatz besitzt Möglichkeiten zur Erweiterung in Richtung eines sich selbst konfigurierenden Softwaredetektors.

6 Literaturverzeichnis

[1] Konzeption und beispielhafte Realisierung einer Pilotstation zum Gewässermonitoring bzgl. radiologischer und chemisch-toxischer Inhaltsstoffe, KMU-innovativ Verbundprojekt KoPiGe, Förderkennzeichen 02WQ1243D

[2] Wong, J. und Han, L.: „Automatic time-picking of first arrivals on noisy microseismic data“, University of Calgary, 2009

[3] Lechelt, M. und Blohm, W.: „Monitoring of surface water by ultra-sensitiv daphnia toxi-meter“, In: Environmental Toxicology, 2000, ISTA 9, Vol. 15

[4] Blohm, W. und Lechelt, M.: „Abschlussbericht 2004 zum Projekt: Entwicklung von Alarmkriterien und Störfallerfassung in Messstationen im Elbeeinzugsgebiet für internationale Gefahrenabwehrplanung (EASE)“, Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg, 2004

[5] Schultze, R. und Draber, S.: „A nonlinear filter algorithm for the detection of jumps in patch-clamp data“. In: The Journal of Membrane Biology 132, 1993

[6] Kutzke, A.: „Entwicklung und Test von Detektionsalgorithmen anhand von Daten aus der Seismik und dem Gewässermonitoring“, Masterarbeit TU Bergakademie Freiberg, 2013

[7] Horn, A. (2003): „Diagnostik der Herzfrequenzvariabilität in der Sportmedizin“. Diss. Ruhr-Universität Bochum